



L'actualisation du zéro hydrographique dans le port de Casablanca, Maroc

Mohktar ABDENOUR¹, Mohamed LAHMAMA¹, Mohamed CHAGDALI¹

1. Université Hassan II Casablanca, Faculté des Sciences Ben M'Sik, LPPPC,
Casablanca, Maroc.

mokbac0@gmail.com ; marinamedapple@gmail.com ; chagdalimohamed@gmail.com

Résumé :

Le zéro hydrographique doit être, selon les recommandations de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI), plus proche que possible du niveau des plus basses mers astronomiques. La caractéristique « astronomique » indique qu'il ne s'agit pas d'un niveau directement observé mais calculé à partir de la force génératrice de la marée due aux actions gravitationnelles de la Lune et du Soleil (SIMON, 2007). En effet, les basses marées sont observées pendant les solstices d'été et d'hiver soit le 21 juin et le 21 décembre. En outre pour bien observer et calculer les marées, la période appelée Saros (CAUSERET, 2008) doit être prise en considération. Dans ce travail on présente une démarche pour extraire une estimation du niveau minimum de la marée en exploitant des enregistrements marégraphiques en vue d'actualiser le Zéro Hydrographique (ZH). On applique une approche en trois phases. La première est celle de l'analyse harmonique des données marégraphiques où il sera procédé au filtrage des signaux, à l'identification du contenu fréquentiel et à la décomposition des signaux en séries de Fourier, sur la base fréquentielle identifiée. La seconde phase concerne l'analyse des fluctuations résiduelles. Les écarts entre les signaux enregistrés et les signaux prédits par les harmoniques sont dues à la marée météorologique. Alors que la troisième phase concerne la redéfinition du Zéro Hydrographique relatif aux enregistrements étudiés qui s'étendent sur la région de Casablanca - Mohammedia située sur la façade atlantique nord du Maroc. Lors de cette étude, nous traitons les enregistrements bruts du marégraphe pour l'année 2015. La finalité de ce travail est la compréhension de la tendance de variation du niveau de la mer sur la zone d'étude observée au cours de ce siècle qui est en relation directe avec les changements climatiques.

Mots-clés :

Marée astronomique, Marée, météorologique ; Marégraphe, Zéro Hydrographique, Analyse spectrale, DFT, Méthode des moindres carrés, Analyse harmonique, Saros, Casablanca.

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

1. Introduction

Le périmètre de l'étude couvre la région de Casablanca - Mohammedia qui se trouve sur la façade atlantique nord du Maroc. Le marégraphe d'observation des données est installé au port de Casablanca et les données disponibles concernent :

- Des enregistrements des marégraphes fournis par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) à Casablanca et l'Agence des ports ;
- Des enregistrements de la pression, de la vitesse et de la direction du vent acquis auprès de la DMN.

Afin d'actualiser le Zéro Hydrographique (ZH) dans la zone d'étude, nous exploitons des enregistrements marégraphique desquels on extrait des données brutes. Mais, les mesures brutes enregistrées présentent des perturbations qui déforment l'analyse du signal à cause aux dénombrables facteurs agissants sur les variations des hauteurs minimales et maximales de la mer.

Donc pour extraire les données de la marée astronomique et pouvoir identifier le contenu fréquentiel du signal de celle-ci, on doit procéder au nettoyage et filtrage des données brutes via un filtre numérique passe bas. A ces mouvements d'allure régulière se superposent des variations de hauteur d'eau d'origine météorologique, appelées surcotes-décotes dont l'étude relève essentiellement de méthodes statistiques. Ainsi une correction du contenu du signal nettoyé est sollicitée. Aussi, pour réaliser l'identification des composantes de la marée, on va suivre la procédure de la quadrature directe qui consiste à identifier directement les coefficients de la série d'ondes. Elle revient à projeter directement la fonction de la marée sur une base de fonctions. Cette approche présente l'avantage de ne pas prendre beaucoup de temps de calcul, les résultats sont très satisfaisants lorsque la base de fonctions est libre, complète et orthogonale.

Comme tout phénomène quantifiable, l'étude des variations temporelles du niveau de la mer, dont la marée est une composante majeure, se prête bien à l'analyse spectrale par la Transformée de Fourier. Quant au spectre de raie, on l'obtient à l'aide d'un algorithme rapide de la transformée de Fourier discrète (TFD). Le spectre de la marée, est un mode de représentation de l'amplitude, ou l'énergie, en fonction de la fréquence ou de la période du signal analysé qui permet d'identifier le contenu fréquentiel du signal de marée.

2. Moyens utilisés

Le marégraphe installé au port de Casablanca est un marégraphe côtier numérique Radar (VEGAPLUS 65) dont l'incertitude à 95% d'une mesure intégrée sur 2 minutes est de l'ordre de 1 cm. Pour respecter les conditions préconisées par l'OHI et vu l'emplacement du marégraphe, les données extraites doivent obligatoirement être filtrées pour éliminer les oscillations de courte période (houles, clapotis, etc...), Voir figure 1. La position du marégraphe de Casablanca est : 33°36'40" N, 07°36'41" W.

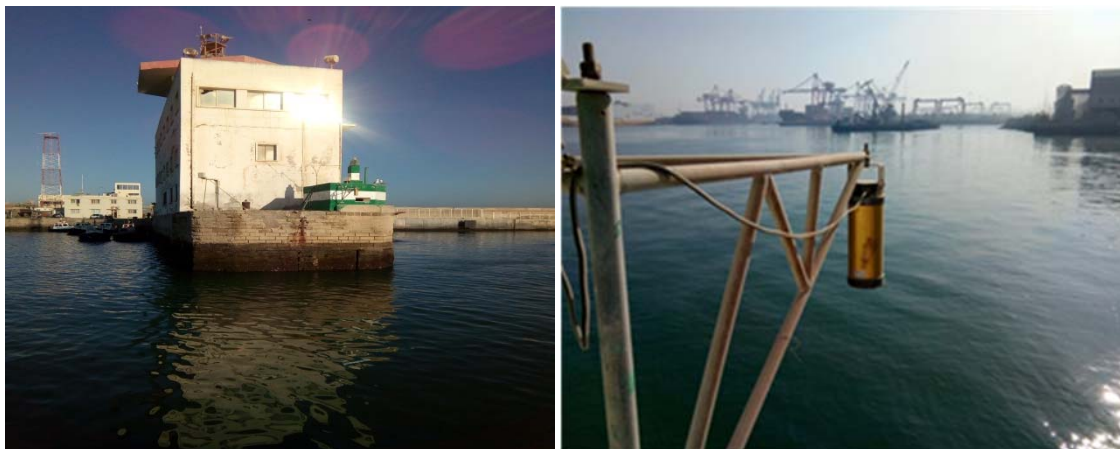


Figure 1. Photos du marégraphe Casablanca.

3. Le Zéro Hydrographique

Généralement, le zéro hydrographique ou niveau de référence des cartes marines, est choisi comme le niveau des plus basses mers astronomiques. Il s'agit d'un niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très rarement. Le choix d'un ZH au voisinage des plus basses mers est pratique afin de disposer d'au moins autant d'eau que ce qui est indiqué sur la carte. Ce choix est adopté par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI).

3.1 Suivis du niveau de la mer et calcul du Zéro Hydrographique

Le Zéro Hydrographique (ZH) est défini à partir de mesures continues effectuées à l'aide des marégraphe sur une période de quelques mois à une ou plusieurs années. Ce choix est typiquement français et appliqué au Maroc, la plupart des pays ayant plutôt choisi un niveau moyen. Ainsi il existe un grand nombre de ZH qui sont définis localement et indépendamment les uns des autres dans chaque port de l'Atlantique. On appelle zone de marée, la zone en mer sur laquelle s'applique un ZH mesuré dans un port particulier. Des discontinuités existent donc d'une zone à l'autre (exemple 0,75 m entre la zone de Dakhla et celle de Casablanca). Les mesures du Zéro Hydrographique doivent être liées au Niveau Général Marocain (NGM). La figure 2 illustre le processus du relevé de la hauteur de la marée par un marégraphe par rapport au ZH.

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

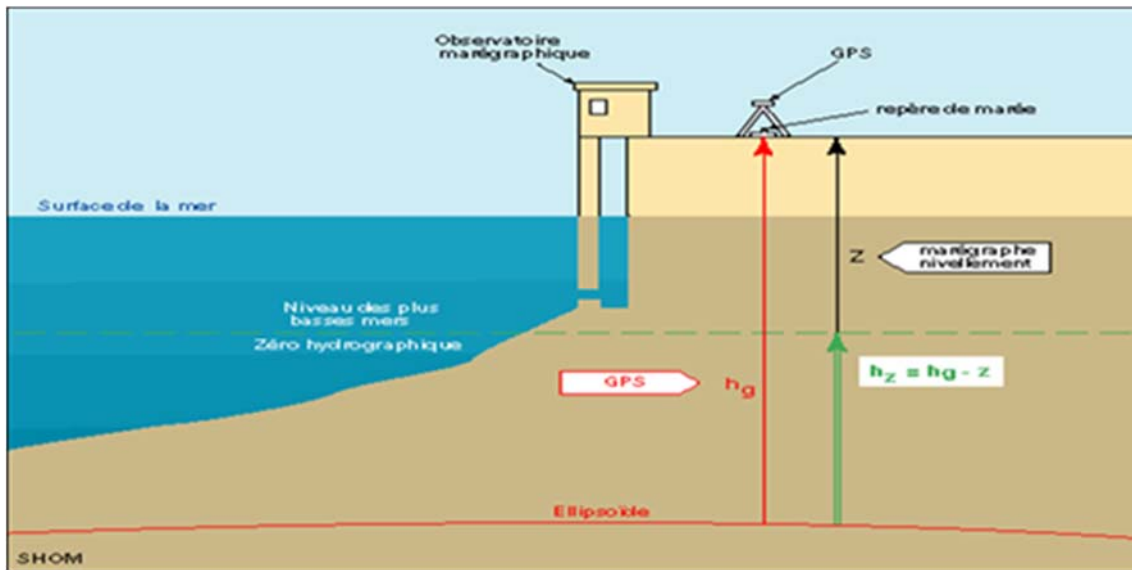


Figure 2. Processus du relevé de la hauteur de la marée.

3.2 Les outils de traitement des données

Pour pouvoir atteindre les objectifs prescrits nous avons recouru lors de notre étude à l'utilisation du logiciel Matlab, tout en exécutant certains codes faisant appel à des fonctions prédéfinies afin de nettoyer, filtrer et identifier le contenu fréquentiel et les composantes de la marée à l'aide d'une Transformée de Fourier Discrète TFD. Par la suite, une simulation via la boîte à outils T-tide sous Matlab (PAWLOWICZ *et al.*, 2002) nous a permis de récupérer l'amplitude et la phase de chacune des harmoniques principales de la marée océanique. T-Tide Harmonic Analysis Toolbox for Matlab a été développé par Rich Pawlowicz (PAWLOWICZ *et al.*, 2002). Le programme prend une série temporelle des marées brutes comme entrée et produit l'amplitude et la phase des constituants harmoniques pour la série temporelle, ainsi que des estimations d'erreur.

4. Zéro hydrographique et période Saros

Les marées les plus faibles se produisent lorsque la lune est à 90° de l'axe terre-soleil. Elles se font pendant les solstices d'été et d'hiver soit le 21 juin et le 21 décembre. De même pour avoir une cohérence entre les notions de base astronomiques et les calculs des niveaux des marées, on doit prendre en considération la période dite Saros, qui est exactement de l'ordre d'une durée de 18 ans et 11 jours et 7 heures et 50 secondes (CAUSERET, 2008). Pendant ladite période les niveaux extrêmes des marées sont ainsi considérés répétitifs d'une manière conforme et identique. La prise en compte de cette constatation est jugée importante dans les projets d'actualisation ou de définition du ZH.

5. Résultats et analyse

La période de l'étude est du 01/01/2015 jusqu'au 30/11/15. Les données sont enregistrées par l'intermédiaire du marégraphe de la DMN, installé au port de Casablanca. Le signal brut récupéré, voir figure 3, contient 92615 points (échantillonnage tous les 5 min). Le signal de marée présente des composantes hautes fréquences qui correspondent à des perturbations du niveau des ondes courtes : Clapot, passage d'un navire, etc.... Il est donc nécessaire de filtrer le signal obtenu pour localiser les hautes fréquences qui sont en dehors des fréquences du potentiel astronomique. Ainsi, un filtre passe bas a été réalisé sous Matlab au moyen d'un filtre numérique de Butterworth à réponse impulsionnelle infinie d'ordre 4, d'où on obtient le signal filtré, voir figure 4.

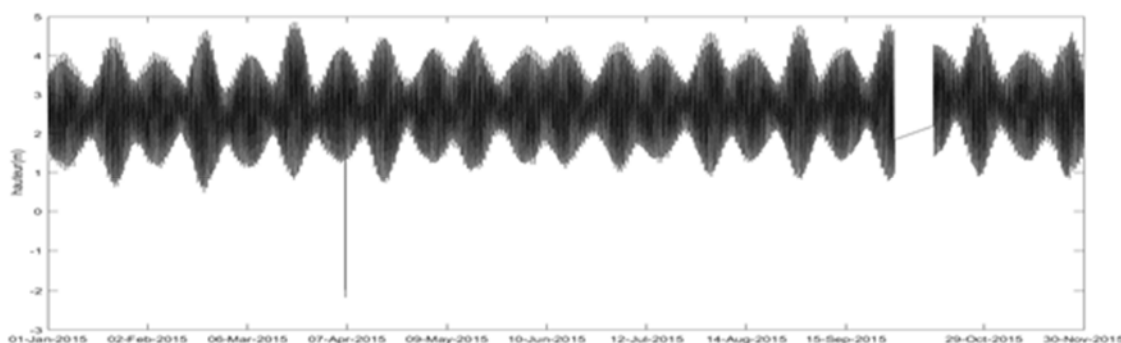


Figure 2. Signal brut.

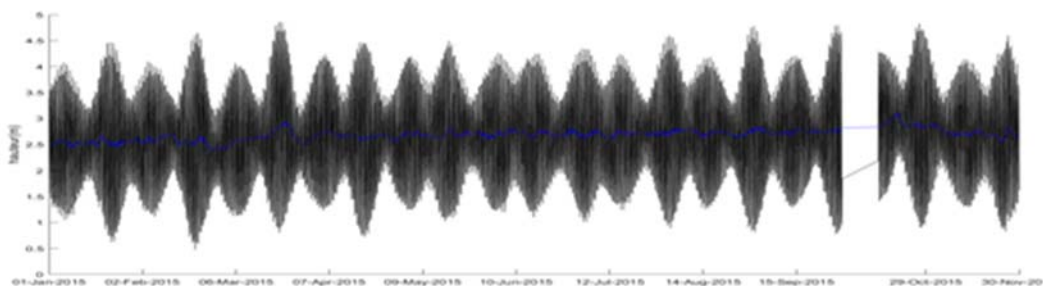


Figure 3. Signal filtré avec niveau moyen.

L'analyse spectrale a été faite par le moyen d'une Transformation de Fourier Discrète (TFD). Le spectre de fréquence du signal déjà filtré est obtenu à l'aide d'un filtre passe bas, ce nous permettant d'identifier le contenu fréquentiel et les composantes de la marée. En plus une correction du signal de marée est suggérée, en ajoutant au signal de marée nettoyé le signal de pression et celui résultant du vent s'il n'est pas négligeable dans la zone d'étude.

Les résultats de l'analyse spectrale montrent la présence d'ondes diurnes, semi diurnes et quart diurnes. Cependant les ondes semi-diurnes sont les plus dominantes ce qui prouve le caractère semi diurne de la marée au port de Casablanca, voir figure 5.

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

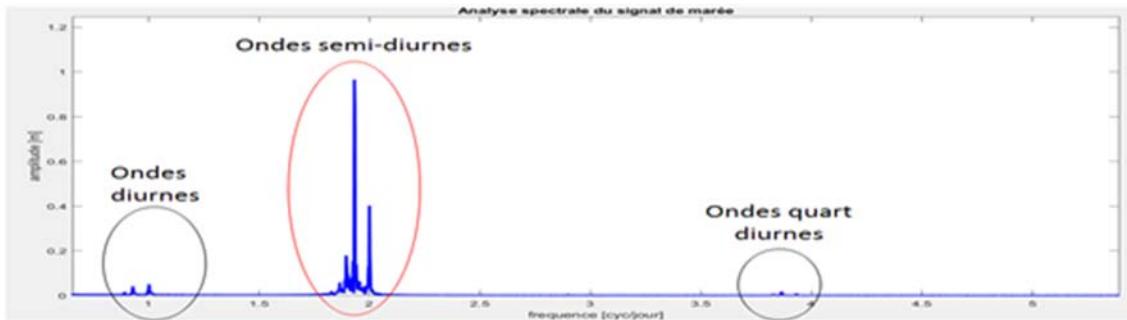


Figure 5. Ondes dominantes, pour enregistrement de 2015.

5.1 Analyse par les moindres carrés

Il est à signaler qu'une attention particulière est portée aux problèmes des composantes mal séparées et du bon conditionnement de l'analyse harmonique par la méthode des moindres carrés (SIMON, 2007).

La formule harmonique de la marée nous donne :

$$h(t) = Z_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega_i t) + B_i \quad (1)$$

L'application de la méthode des moindres carrés permet d'écrire :

Les amplitudes :

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2} \quad (2)$$

Les phases :

$$\omega_i = \arctan\left(\frac{B_i}{A_i}\right) \quad (3)$$

5.2 Simulation par T-Tide

T-Tide est une boîte contenant plusieurs programmes écrits au format Matlab et permettant de réaliser une analyse harmonique et prédictions de marée, voir tableau 1.

La première version de T-Tide est apparue en décembre 2001 (PAWLOWICZ *et al.*, 2002). T-Tide fournit pour chaque onde de marée l'amplitude et la phase (la fréquence étant déjà connue). Et afin de faire la distinction entre les véritables fréquences déterministes (linéaires) et la variabilité à large spectre, les intervalles de confiance pour les paramètres de marée estimés sont calculés à l'aide d'un algorithme sélectionné. On se contente des ondes dominantes et on remarque toujours que l'onde semi diurne M2 et la plus dominante au port de Casablanca avec une amplitude qui dépasse 1m, voir tableau 1.

Tableau 1. Synthèse de données relatives aux types des marées.

<i>Ondes</i>	<i>Fréquences</i>	<i>Amplitude</i>	<i>Phase</i>
<i>*P1</i>	<i>0.0415526</i>	<i>0.0272</i>	<i>9.38</i>
<i>*K1</i>	<i>0.0417807</i>	<i>0.0536</i>	<i>54.93</i>
<i>*2N2</i>	<i>0.0774871</i>	<i>0.0311</i>	<i>22.80</i>
<i>*MU2</i>	<i>0.0776895</i>	<i>0.0475</i>	<i>22.96</i>
<i>*N2</i>	<i>0.0789992</i>	<i>0.1709</i>	<i>53.04</i>
<i>*NU2</i>	<i>0.0792016</i>	<i>0.0459</i>	<i>309.51</i>
<i>*M2</i>	<i>0.0805114</i>	<i>1.0857</i>	<i>57.17</i>
<i>*S2</i>	<i>0.0833333</i>	<i>0.3851</i>	<i>92.31</i>
<i>*K2</i>	<i>0.0835615</i>	<i>0.0432</i>	<i>70.84</i>
<i>*MN4</i>	<i>0.1595106</i>	<i>0.0058</i>	<i>120.29</i>
<i>*M4</i>	<i>0.1610228</i>	<i>0.0183</i>	<i>160.32</i>

5.3 Redéfinition du Zéro Hydrographique

Ensuite, pour redéfinir le Zéro Hydrographique à partir des coefficients de la base des composantes de la marée calculés on doit :

- Identifier le ZH par rapport à l'origine du signal du marégraphe ;
- Rattacher le ZH au zéro du Nivellement Général du Maroc (NGM) ;
- Evaluer la précision de la définition du zéro hydrographique obtenu ;
- Relier entre le zéro hydrographique et le zéro des cartes marines et les autres niveaux de référence.

La démarche suivie pour l'actualisation du ZH au voisinage du port de Casablanca nous a permis de retenir un niveau considéré comme le plus bas possible des marées astronomiques qui est de l'ordre de 2,171 m/NGM. Voir figure 6.

Ce niveau réapparaît normalement et clairement d'une façon périodique, après la période dite Saros (CAUSERET, 2008).

Thème 1 – Hydrodynamique côtière

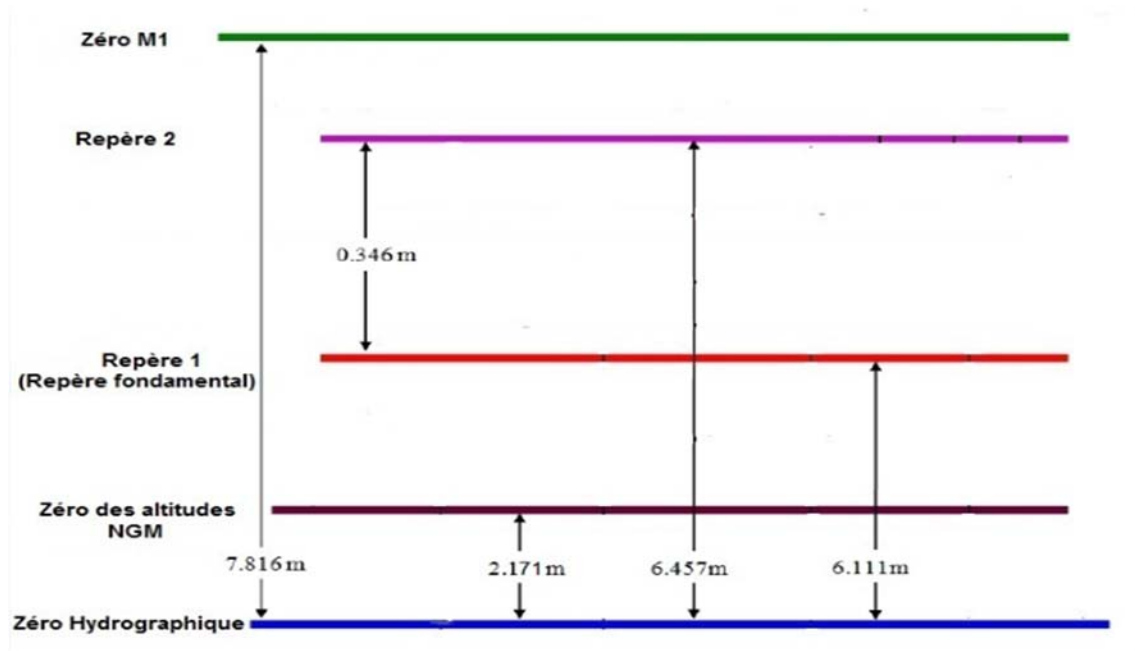


Figure 6. Schéma de situation du Zéro Hydrographique par rapport aux repères d'altitudes et des différents niveaux de référence.

6. Conclusion

L'actualisation du Zéro Hydrographique au niveau de la façade atlantique de Casablanca s'avère d'une importance capitale pour divers domaines dont l'océanographique, les aménagements portuaires et les plateformes de forage et usines de dessalement des eaux de mer. Ainsi, l'approche adoptée constitue une plate-forme d'étude qui contribuera à la résolution des problèmes relatifs aux variations des niveaux de mer et aux changements climatiques. De même, elle pourrait soutenir les futures recherches concernant le Zéro Hydrographique en particulier et les sciences de la mer en général au niveau de la façade atlantique Marocaine.

7. Références

- CAUSERET P. (2008). *A propos du Saros, de la rotation de la ligne des nœuds et du cycle de Méton*. Cahiers Clairault, CC N°122, été 2008, pp.33-34.
- PAWLOWICZ R., BEARDSLEY B., LENTZ S. (2002). *Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE*. Computers & Géosciences, 28(8), 929-937. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00013-4)
- SIMON B. (2007). *La marée. La marée océanique côtière*, 435 p., Paris, Institut Océanographique.